

Каталог нумерованных малых планет на сайте ИПА РАН

© Д. А. Аксим, И. А. Безруков, Ю. С. Бондаренко, А. Г. Водолагина,
Н. Б. Железнов, О. М. Кочетова, В. Б. Кузнецов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Каталог нумерованных малых планет, размещенный на сайте ИПА РАН (URL: <http://iaaras.ru/dept/lbss/mpc/>), является русскоязычным источником сведений о динамике малых планет. Он основан на оригинальных исследованиях и результатах работы программного обеспечения, разработанного в ИПА РАН. Информация о наблюдениях малых планет считывается с сайта Международного центра малых планет и служит основой для уточнения орбит этих тел и прогнозирования их движения вокруг Солнца на протяжении ближайших двадцати лет. При присвоении малой планете номера или имени на сайте ИПА РАН появляются: информация об истории ее открытия, наименование малой планеты, параметры орбиты и ее визуализация, обстоятельства сближений с возмущающими планетами, включенными в модель движения, и другие полезные сведения.

Для хранения и извлечения информационных файлов в различных форматах (.html, .png, .txt) используется S3-совместимое объектное хранилище, построенное на базе программного обеспечения Serp.

Ключевые слова: малые планеты, астероиды, улучшение орбит, минимальные расстояния между орбитами (MOID), сближения с возмущающими телами.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.51.3-12>

Введение

В современном мире потребность в быстром обмене различного рода информацией между научными сообществами удовлетворяется главным образом через создание соответствующих тематических веб-сайтов, обеспечивающих возможность сравнения результатов научных исследований. Так, на сайтах ЦМП (Центра малых планет, США, г. Кембридж), Лаборатории реактивного движения (США, г. Пасадена) и Пизанского университета (Италия, г. Пиза) регулярно размещается информация о малых планетах в виде таблиц, содержащих сведения об элементах орбит малых планет, и другие полезные данные. Модели определения орбит в этих организациях несколько различаются, при этом в Лаборатории реактивного движения уточняется кометная система элементов орбит, в Пизанском университете — эквиноктиальная, в Центре малых планет — астероидная система.

Данная работа посвящена описанию Каталога нумерованных малых планет на сайте ИПА РАН, который является русскоязычным источником сведений о динамике малых планет и основан на результатах оригинальных ис-

следований и программ, разработанных в ИПА РАН. Для удобства сравнения данных Каталога с данными других центров в Каталоге приводятся активные ссылки на сайты вышеуказанных центров.

Присвоение имен малым планетам было основано на работах Хергета [1] и циркулярах, публикуемых на сайте ЦМП ([URL: https://minorplanetcenter.net](https://minorplanetcenter.net)). Для планет, открытых отечественными астрономами, или планет, названных в честь отечественных деятелей науки и культуры, добавлены обоснования имен на русском языке (рис. 1).

Поиск малых планет

🔍 3946

(3946) Shor

Предварительное обозначение 1983 EL2

ИПА РАН Центр малых планет

Лаборатория реактивного движения Динамика астероидов

Открытие

Дата и место 1983, Mar 5, Nauchnyj

Первооткрыватели Karachkina, L. G.

Discovered 1983 Mar. 5 by L. G. Karachkina at the Crimean Astrophysical Observatory.

[Обстоятельства открытий нумерованных малых планет](#)

Источник

MPC 15090 (Minor Planet Circular, p. 15090, 1989-09-15)

Обоснование

Малая планета 3946 Shor открыта 5 марта 1983 г. Л. Г. Карачкиной в Крымской астрофизической обсерватории. Названа в честь Виктора Абрамовича Шора, сотрудника Института теоретической астрономии в Санкт-Петербурге по случаю его шестидесятилетия. Будучи хорошо известен своей напряженной работой, связанной с изданием и составлением ежегодника "Эфемериды малых планет", он также выполнил значительные исследования по теории движения спутников Марса.

Named in honor of Viktor Abramovich Shor, member of the staff of the Institute for Theoretical Astronomy in Leningrad, on the occasion of his sixtieth birthday, 1989 Sept. 29. Best known for his extensive work in connection with editing and compiling the annual volume of "Ephemerides of Minor Planets", he has also carried out significant research on a theory of the motion of the satellites of Mars.

Рис. 1. Пример поиска в Каталоге по номеру малой планеты (возможен также поиск по имени или предварительному обозначению)

При присвоении малой планете номера или имени на сайте ИПА РАН появляется информация об истории открытия и наименования малой планеты, параметры орбиты и ее визуализация, обстоятельства сближений с возмущающими планетами, включенными в модель движения, и другие полезные сведения.

Для хранения и извлечения информационных файлов различных типов (.html, .png, .txt) используется S3-совместимое объектное хранилище, построенное на базе программного обеспечения (ПО) Serph. Для конвертирования файлов bmp-типа в тип .png использовалась находящаяся в свободном доступе программа bmp2png.exe (version 1.62 (Sep 4, 2005), copyright (C) 1999-2005 MIYASAKA Masaru).

Для каждой малой планеты из Каталога отведена страница на сайте со следующими вкладками (и пояснениями к ним):

- орбитальные данные;
- матрица ковариации и другая информация;
- сравнение с наблюдениями;
- обстоятельства сближений.

Далее авторы остановятся на более детальном описании данных, используя в качестве примера малую планету (3946) Shor, названную в честь старейшего сотрудника ИПА РАН Виктора Абрамовича Шора, которому 29 сентября 2019 г. исполнилось 90 лет.

Орбитальные данные

Независимое массовое определение орбит малых планет осуществляется в ИПА РАН с 2012 г. [2], число нумерованных планет на тот момент составляло 322611.

На текущий год в Каталоге на сайте ИПА РАН (URL: <http://iaaras.ru/dept/lbss/mpc/>) даны элементы орбит уже для 523824 нумерованных малых планет [3]. Вычисление оскулирующих элементов было выполнено численным интегрированием релятивистских уравнений движения в прямоугольных координатах с учетом возмущений от Меркурия до Нептуна и от Плутона, Цереры, Паллады и Весты. Возмущения от Земли и Луны рассматривались отдельно.

При оценке орбитальных данных необходимо учитывать следующее:

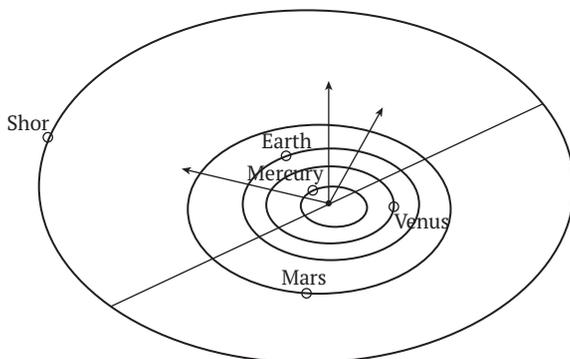
1) поправки к начальным элементам вычислялись из решения системы взвешенных условных уравнений методом наименьших квадратов. При этом наблюдениям, выполненным до 1901 г., приписывался вес, равный 1/16; наблюдениям, выполненным на интервале 1901–1950 гг. — 1/9; наблюдениям, выполненным на интервале 1951–1995 гг. — 1/4; наблюдениям, выполненным с начала 1996 г. — 1;

2) при улучшении орбиты использовались только позиционные наблюдения стандартной точности, в том числе спутниковые (для даты наблюдения — не менее пяти знаков в долях суток, для прямого восхождения — не менее двух знаков в долях секунды, для склонения — не менее одной десятой секунды дуги);

3) наблюдения по прямому восхождению и склонению рассматривались в качестве независимых, так что условное уравнение, например по прямому восхождению, могло быть исключено из решения по критерию «три сигма», в то время как уравнение по склонению, напротив, могло быть использовано в решении;

4) наблюдение считалось используемым, если оба условных уравнения по прямому восхождению и склонению или по крайней мере одно из них использовалось при нахождении решения.

На рис. 2 приведен пример орбитальных данных и визуализация орбиты для планеты (3946) Shor (на сайте орбитальные данные расположены слева, рисунок орбиты — справа, типы файлов — .html и .png).



t_0 , сут. — начальная эпоха	2458800.5 TDB (2019 11 13.0)
M , ° — средняя аномалия	$220.23711 \pm 2.5e-5$
ω , ° — аргумент перигелия	$272.7928 \pm 1.4e-4$
Ω , ° — долгота восходящего узла	$325.8407 \pm 1.4e-4$
i , ° — наклон орбиты к эклиптике	$0.735231 \pm 2.1e-6$
e — эксцентриситет	$0.12812151 \pm 5.3e-8$
n , °/сут. — среднее движение	$0.18122826 \pm 2.4e-8$
a , а.е. — большая полуось	$3.0925645 \pm 2.8e-7$
q , а.е. — перигелийное расстояние	$2.6963405 \pm 4.1e-7$
Q , а.е. — афелийное расстояние	$3.4887886 \pm 4.8e-7$
P , год — период обращения	$5.4384878 \pm 7.3e-7$
Tp , сут. — момент прохождения перигелия	$2459571.6981 \pm 2.4e-4$ (2021 12 23.1981)
l , ° — долгота перигелия,	$238.6335 \pm 2.9e-4$
L , ° — средняя долгота,	$98.8706 \pm 3.1e-4$
$p = a(1-e^2)$, а.е. — параметр орбиты	$3.0417997 \pm 3.2e-7$
расстояние от восходящего узла орбиты, а.е.	$3.0229288 \pm 6.5e-7$
момент прохождения через восходящий узел орбиты, сут.	$2459972.581 \pm 1.1e-3$ (2023 1 28.081)
расстояние от нисходящего узла орбиты, а.е.	$3.0609077 \pm 6.7e-7$
момент прохождения через нисходящий узел орбиты, сут.	$2459140.7496 \pm 9.5e-4$ (2020 10 18.2496)

Рис. 2. Пример визуализации орбиты малой планеты на сайте ИПА РАН.
Орбитальные данные

Матрица ковариации и другие данные

Для каждой планеты из Каталога на сайте ИПА РАН публикуются матрицы ковариации и корреляции координат и компонентов скорости, полученные при улучшении орбиты, а также матрицы ковариации и корреляции элементов орбиты. Также публикуются значения координат и компонентов скорости и значения шести элементов орбиты с их ошибками по формату, обеспечивающему достаточное количество знаков: четырнадцать и двенадцать знаков после десятичной точки соответственно (см. рис. 3 — фрагмент протокола улучшения орбит для планеты (3946) Shor). Результаты представлены на сайте ИПА РАН в виде txt-файлов для удобства пользования.

Улучшенные гелиоцентрические экваториальные координаты и компоненты скорости на эпоху 2019 11 13.0 (2458800.5)

x	-0.0271541120729020	+/-	0.0000000941411629	a.e.
y	3.1171227406901090	+/-	0.0000001025667978	a.e.
z	1.3907282026850130	+/-	0.0000001079564642	a.e.
dx/dt	-0.0087835937640656	+/-	0.000000002543229	a.e./сут.
dy/dt	-0.0006464988161234	+/-	0.000000002327334	a.e./сут.
dz/dt	-0.0003577875253224	+/-	0.000000003140499	a.e./сут.

Матрица корреляции координат и компонентов скорости

	x	y	z	dx/dt	dy/dt	dz/dt
x	1.00	0.65	0.27	-0.94	0.30	0.10
y	0.65	1.00	-0.05	-0.63	0.58	0.33
z	0.27	-0.05	1.00	-0.27	0.43	-0.16
dx/dt	-0.94	-0.63	-0.27	1.00	-0.38	-0.13
dy/dt	0.30	0.58	0.43	-0.38	1.00	-0.35
dz/dt	0.10	0.33	-0.16	-0.13	-0.35	1.00

Рис. 3. Фрагмент протокола улучшения орбиты

Сравнения с наблюдениями

В качестве оценки полученных нами орбит малых планет используются невязки наблюдений, не вошедших в интервал улучшений орбиты и находящихся за его пределами (рис. 4). Так, для планеты (3946) Shor число использованных наблюдений на интервале наблюдений 1954–2018 гг. (по состоянию на 26 октября 2018 г.) составило 2659, ошибка одного наблюдения равна 0.34". Для получения невязок использовались наблюдения этой планеты с 27 октября 2018 г. по 16 августа 2019 г. (наблюдения, опубликованные на сайте ЦМП на время вычисления невязок).

Для планет, наблюдения которых отсутствовали, начиная с 27 октября 2018 г., вычисления невязок повторялись по мере публикации наблюдений на сайте ЦМП. Для подавляющего числа планет невязки наблюдений, не вошедших в интервал улучшения их орбит, не превышают среднеквадратические ошибки, что говорит о надежности полученных орбит.

№	Дата (UTC)	α h m s	δ ° ' "	$(O-C)_a$ "	$(O-C)_s$ "	Расст. от Земли (а.е.)	Расст. от Солнца (а.е.)	Обсерватория
126	2019 01 04.314224	01 50 45.30	+12 16 07.4	-0.590	-0.159	3.0637572	3.476314	T05 (2905)
127	2019 01 04.322676	01 50 45.45	+12 16 08.0	-0.096	-0.113	3.0638822	3.476317	T05 (2905)
128	2019 01 04.324140	01 50 45.47	+12 16 07.8	-0.098	-0.409	3.0639032	3.476317	T05 (2905)
129	2019 01 04.330991	01 50 45.57	+12 16 08.7	-0.019	+0.043	3.0640042	3.476319	T05 (2905)
130	2019 01 04.332657	01 50 45.59	+12 16 08.8	-0.063	+0.034	3.0640282	3.476319	T05 (2905)
131	2019 01 04.339465	01 50 45.70	+12 16 09.3	+0.167	+0.089	3.0641282	3.476321	T05 (2905)
132	2019 01 08.10927	01 51 49.09	+12 21 06.5	+0.178	+0.084	3.1199562	3.477351	I41 (1841)
133	2019 01 08.16157	01 51 50.02	+12 21 11.1	+0.128	-0.001	3.1207362	3.477365	I41 (1841)
134	2019 01 08.308124	01 51 52.76	+12 21 25.0	+0.245	+0.062	3.1229232	3.477404	T05 (2905)
135	2019 01 08.316886	01 51 52.91	+12 21 25.8	+0.119	+0.081	3.1230542	3.477407	T05 (2905)
136	2019 01 08.317801	01 51 52.92	+12 21 25.1	+0.022	-0.701	3.1230682	3.477407	T05 (2905)
137	2019 01 08.325079	01 51 53.04	+12 21 25.8	-0.155	-0.649	3.1231772	3.477409	T05 (2905)
138	2019 01 08.326690	01 51 53.10	+12 21 26.5	+0.295	-0.092	3.1232012	3.477409	T05 (2905)
139	2019 01 08.333781	01 51 53.17	+12 21 27.3	-0.571	+0.077	3.1233062	3.477411	T05 (2905)
140	2019 01 08.334905	01 51 53.25	+12 21 27.3	+0.301	-0.023	3.1233232	3.477412	T05 (2905)
141	2019 01 08.343668	01 51 53.38	+12 21 27.9	-0.138	-0.201	3.1234542	3.477414	T05 (2905)
142	2019 01 10.17102	01 52 30.05	+12 24 24.4	+0.197	+0.134	3.1508162	3.477896	I41 (1841)
143	2019 01 10.18465	01 52 30.31	+12 24 25.7	-0.008	+0.066	3.1510202	3.477900	I41 (1841)
144	2019 01 17.52187	01 55 31.45	+12 39 20.8	-0.418	+0.430	3.2620672	3.479733	D29 (1329)
145	2019 01 17.53475	01 55 31.82	+12 39 22.3	-0.187	+0.135	3.2622632	3.479737	D29 (1329)

Рис. 4. Невязки наблюдений, не входящих в интервал улучшения орбиты

Обстоятельства сближений

Информация о наблюдениях малых тел считывается с сайта ЦМП и служит основой для уточнения орбит этих тел и прогнозирования их движения вокруг Солнца на протяжении ближайших двадцати лет. В таблице приведены обстоятельства сближения астероида (3946) Shor с большими планетами, возмущения от которых включены в модель движения астероида (на сайте ИПА РАН таблица представлена в виде html-файла).

Значения минимальных расстояний между гелиоцентрическими орбитами астероида и возмущающими планетами (MOID) вычислялись по формулам, приведенным в работе [4]. Погрешность MOID определялась по формуле погрешности функции, когда значения аргументов имеют ошибки [5]. При вычислениях погрешности ошибки параметров орбиты возмущающей планеты брались нулевыми, а ошибки элементов астероида считались некоррелированными.

Минимальные расстояния объекта от возмущающих планет вычислялись с постоянным шагом в один день на интервале в 20 лет (отсчет от начальной даты t_0).

Параметр (критерий) Тиссерана вычисляется по формуле:

$$CT = a_j / a + \cos(i) \sqrt{a(1-e^2) / a_j},$$

где a_j — большая полуось тела, относительно которого вычисляется параметр Тиссерана; большая полуось a и эксцентриситет e относятся к исследуемому объекту; i — угол между орбитальными плоскостями двух объектов. Как правило, его вычисляют для комет, астероидов и т. п., которые при тесном сближении с большими планетами могут испытывать значительные возмущения, изменяющие их орбиты, но параметр Тиссерана при этом не меняется, что позволяет не терять исследуемый объект наблюдения. Наиболее часто параметр Тиссерана вычисляется относительно Юпитера, но есть и исключения (пример — Апофис, который в 2029 г. в результате сближения с Землей изменит тип орбиты с Атона (большая полуось $a < 1$ а. е.) на Амур (большая полуось $a > 1$ а. е.)).

Поиск соизмеримости средних движений астероида n_1 и возмущающей планеты n_2 осуществлялся с точностью $\varepsilon = 50''/\text{сут}$. Считалось, что имеется соизмеримость $k_1:k_2$, если выполнялось условие: $\left| \frac{k_1}{k_2} - \frac{n_1}{n_2} \right| < \frac{\varepsilon}{n_2}$. При этом

процесс перебора натуральных чисел k_1, k_2 для пары астероид-возмущающая планета осуществлялся в указанных ограничениях: $|k_2 - k_1| \leq 5$ и $k_1, k_2 \leq 9$.

Обстоятельства сближений с планетами, возмущения от которых включены
в модель движения астероида

Планета	Минимальные расстояния между орбитами MOID (а. е.)	Минимальные расстояния между телами на ближайшие 20 лет (а. е. на дату: год, месяц, число)		Критерий Тиссерана	Соизмеримость средних движений
Меркурий	$2.23378 \pm 2.2e-6$	2038 07 16	2.21682	—	—
Венера	$1.97200 \pm 2.3e-6$	2038 03 22	1.97240	4.327	—
Земля	$1.68613 \pm 3.0e-6$	2038 05 24	1.66721	3.812	—
Луна	—	2038 05 22	1.66592	—	—
Марс	$1.13366 \pm 1.2e-5$	2022 01 03	1.17320	3.317	1:3
Юпитер	$1.51351 \pm 2.2e-5$	2025 01 01	1.62737	3.211	7:3
Сатурн	$5.64580 \pm 1.6e-5$	2030 02 02	5.65040	4.223	—
Уран	$15.2807 \pm 1.9e-6$	2036 05 27	15.4095	6.995	—
Нептун	$26.4479 \pm 8.2e-6$	2034 12 20	26.4683	10.39	—
Плутон	$27.1739 \pm 1.4e-5$	2022 09 18	31.7498	—	—
Церера	$0.09944 \pm 2.4e-4$	2035 09 07	0.77068	—	4:5
Паллада	$0.10472 \pm 5.7e-5$	2037 06 09	0.85201	—	4:5
Веста	$0.58279 \pm 4.5e-5$	2021 06 29	0.63421	—	2:3

Заключение

На сайте ИПА РАН представлен Каталог нумерованных малых планет, основанный на оригинальных исследованиях и результатах программной обработки (URL: <http://iaaras.ru/dept/lbss/mpc/>). Для удобства сравнения данных каталога с данными других центров в Каталоге приведены активные ссылки на сайты ЦМП, Лаборатории реактивного движения и Пизанского университета.

В Каталоге представлены: информация о параметрах орбиты и ее визуализация, история открытия и наименования малой планеты, а также прогнозирование движения вокруг Солнца на протяжении ближайших двадцати лет.

В будущем в Каталог предполагается добавить информацию о физических параметрах астероидов, а также включить данные о нумерованных периодических кометах.

В дополнение к Каталогу, с середины 2019 г. на сайте ИПА РАН в режиме реального времени формируется таблица с информацией об обстоятельствах сближений или падений на Землю и/или Луну потенциально опасных объектов (MOID $\oplus < 0.05$ а.е.): URL: <https://prognoz.s3.iaaras.ru/approach.pdf>. Полное описание этой таблицы изложено в работах [6, 7].

Литература

1. *Herget P.* The Names of the Minor Planets // Cincinnati Observatory. — 1955. — P. 1–38. — 1968. — P. 39–138.
2. *Кочетова О. М., Кузнецов В. Б., Медведев Ю. Д., Шор В. А.* Каталог элементов орбит нумерованных астероидов ИПА РАН // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. — 2013. — № 220. — С. 255–258.
3. Эфемериды малых планет на 2019 г. / под ред. Ю. А. Чернетенко. — 2018. — URL: <http://iaaras.ru/html/emp2019/emp2019.html>.
4. *Балуев Р. Б.* Алгоритмизация задачи вычисления минимального расстояния между двумя софокусными кеплеровыми орбитами / Материалы Всероссийской конференции «Астероидно-кометная опасность-2005» (АКО-2005). — СПб.: ИПА РАН, 2005. — С. 56–58.
5. *Яковлев К. П.* Математическая обработка результатов измерений — М.: Гостехиздат, 1953. — 388 с.
6. *Шор В. А., Вавилов Д. Е., Виноградова Т. А., Железнов Н. Б., Зайцев А. В., Кочетова О. М., Кузнецов В. Б., Чернетенко Ю. А.* Программный комплекс «Прогноз» предвычисления столкновений астероидов с Землей и Луной. Часть 1. Организация мониторинга сближений и столкновений небесных тел с Землей и Луной // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2019. — № 48. — С. 100–112.
7. *Шор В. А., Вавилов Д. Е., Виноградова Т. А., Железнов Н. Б., Зайцев А. В., Кочетова О. М., Кузнецов В. Б., Чернетенко Ю. А.* Программный комплекс «Прогноз» предвычисления столкновений астероидов с Землей и Луной. Часть 2. Вычисление обстоятельств сближений и столкновений // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2019. — № 49. — С. 83–104.

Numbered Minor Planets Catalogue on the IAA RAS Website

**D. A. Aksim, I. A. Bezrukov, Yu. S. Bondarenko, A. G. Vodolagina,
N. B. Zheleznov, O. M. Kochetova, V. B. Kuznetsov**

The Numbered Minor Planets Catalogue which was posted on the IAA RAS website is a Russian-language source of information on minor planets dynamics based primarily on the original research and software of the IAA RAS. Observational data on the small bodies are read from the Minor Planets Center website and are used to improve the orbits of the small bodies and predict their motion around the Sun within the next twenty years.

When assigning a number or a name to a minor planet, on the website of IAA RAS there appears information about the history of the discovery and naming the minor planet, the orbital parameters and its visualization, the circumstances of the encounters with perturbing planets included into the dynamics model, as well as other useful information.

To store and extract information files of various types (.html, .png, .txt) an S3 compatible object storage, built on the basis of Ceph software is used.

Keywords: minor planets, asteroids, orbit improvement, MOID, approaches with perturbing bodies.